

文章编号:1005-4642(2022)09-0025-04

## 测量液体黏度的居家实验

王慧琴

(上海工程技术大学 基础物理实验中心,上海 201620)

**摘 要:**基于泊肃叶经验公式,借鉴平氏黏度计的测量原理和方法,通过透明吸管、长尾夹和玻璃杯组成简易装置测得液体黏度。在居家条件下,大部分学生的实验测量结果均在正常范围内,因此该实验可作为线上实验教学项目的有益补充。

**关键词:**黏度;泊肃叶公式;对比法;居家实验

**中图分类号:**O357.1

**文献标识码:**A

**DOI:**10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.09.005

流体(液体、气体)黏度是由于流体流动时不同速度流层间发生相对运动而产生的内摩擦力,其大小表征流体反抗形变的能力,是流体固有的物理属性,又称为内摩擦系数,是描述流体性质的重要物理量。历史上有 2 位科学家对黏度的测量做出了重要贡献,分别是法国科学家泊肃叶和英国科学家斯托克斯,他们经过反复实验总结出经验公式,而且实验结果可以相互验证,因此得到了普遍认可。目前测量黏度的方法有毛细管法(基于泊肃叶公式)<sup>[1-2]</sup>、落球法(基于斯托克斯公式)<sup>[3-5]</sup>和其他测量方法<sup>[6-8]</sup>。本文采用毛细管对比法,通过简单的生活器材即可测量得到液体的黏度。该实验作为居家实验,具有取材容易、操作简单等优点,可作为线上实验教学项目的补充。

### 1 毛细管对比法的测量原理

泊肃叶在 1840 年前后发表的论文《小管径内液体流动的实验研究》中指出:“流量与单位长度上的压力降和管径的四次方成正比”,该经验定律被称为泊肃叶定律。由于该定律与德国工程师哈根在 1839 年得到的结果相同,所以 1925 年泊肃叶定律被改称为哈根-泊肃叶定律,具体表示为

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta L}, \quad (1)$$

其中, $Q$  为液体在毛细管中的流量, $\Delta p$  为毛细管两端的压强差, $r$  和  $L$  分别为毛细管的半径和长

度, $\eta$  为毛细管中液体的黏度。

如果测量时毛细管始终保持竖立,则毛细管两端的压强差为

$$\Delta p = \rho g h, \quad (2)$$

其中, $\rho$  为被测液体的密度, $g$  为重力加速度, $h$  为毛细管两端的高度差。通过毛细管的流量为

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (3)$$

其中, $V$  为毛细管的容量, $t$  为液体全部流出毛细管所经历的时间。将式(2)~(3)代入式(1)可得液体的黏度为

$$\eta = \frac{\pi r^4 \rho g h t}{8 V L}. \quad (4)$$

由于直接测出毛细管的  $V$  和  $r$  较为困难,因此实验过程中大多采用对比法测量液体的黏度<sup>[2]</sup>。具体做法为:采用同一仪器和方法去测量相同体积、不同液体的黏度,用比值法消去难测的物理量。若标准液体的黏度为  $\eta_0$ ,根据式(4), $\eta$  可表示为

$$\eta = \frac{\pi r^4 \rho_0 g h t_0}{8 V L}, \quad (5)$$

经比值处理可得被测液体的黏度为

$$\eta = \frac{\rho t}{\rho_0 t_0} \eta_0. \quad (6)$$

由式(6)可知,只需在相同条件下测出相同体积被测液体完全流出毛细管的时间  $t$ ,即可计算

收稿日期:2022-04-11;修改日期:2022-06-07

基金项目:上海市大学生创新训练项目(No. CS2221004);上海工程技术大学科普项目(No. 22KPHD11)

作者简介:王慧琴(1968—),女,江西上饶人,上海工程技术大学基础物理实验中心教授,博士,从事物理实验教学。E-mail:wanghq@sues.edu.cn

得到被测液体的黏度. 然而在实际测量中, 由于毛细管的容量过小, 流经的时间过短, 从而导致实验结果的误差大, 测量精度低. 因此, 研究人员在毛细管的基础上不断进行改进以减小误差, 至今已有奥氏黏度计<sup>[2,9]</sup>、平氏黏度计<sup>[10]</sup>和乌氏黏度计<sup>[11]</sup>等多种毛细管法测量液体黏度的仪器. 图 1 所示为平氏黏度计, 毛细管上端连接测定球和缓冲球, 观测点分别为  $M_1$  和  $M_2$ , 当液面从  $M_1$  下降至  $M_2$  时, 流过的液体体积  $V$  即为测定球的容量, 由于测定球的容量较毛细管的容量大, 故液体流过的时间也大幅增加, 从而提高了液体黏度的测量精度. 受此启发, 采用与平氏黏度计相同的实验原理, 本文通过吸管和长尾夹等器材设计了测量液体黏度的居家实验.

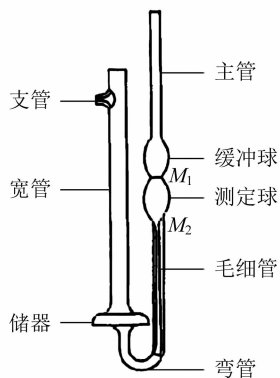
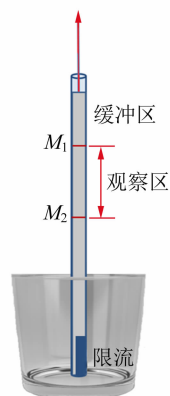


图 1 平氏黏度计

打开秒表, 记录液面从  $M_1$  到  $M_2$  所需的时间. 实验中应尽量选择底部平、高度小的容器, 使吸管比较稳定地竖立于杯中且容器外留有足够长的部分, 以便于观测.

测量原理示意图和实物装置图如图 2 所示. 实验前需重复步骤 4) 数次, 记录观测时间是否稳定, 如果起伏较大, 观察液体下降的快慢. 若液面下降过快, 则流速过大, 从而导致液体流过的时间过小, 测量误差较大; 若液面下降过慢, 则流速过小, 黏度高的液体则难以被吸到缓冲区, 且对测量结果带来影响, 因为液体停留时间越长, 吸管壁与液体分子的相互作用越大, 形成的阻力越大. 一般情况下, 液面流经两标线的时间差控制在 30~50 s 为宜, 这种情况下进行测量的结果比较稳定.



(a) 示意图

## 2 吸管对比法测量液体黏度

实验器材: 透明吸管 (长约 16 cm)、长尾夹 (中号, 2.5 cm × 1.5 cm)、杯状容器 (高 4.5 cm)、记号笔、秒表、被测液体 (牛奶、蜂蜜水等).

实验步骤:

1) 在吸管上用记号笔标记 2 条观测线, 如图 2(a) 所示. 吸管上端的缓冲区高度约为 4.5 cm, 观测区 (两观测线间距) 高度约为 3 cm.

2) 用长尾夹将吸管尾端夹住一部分, 使管道变窄以控制液体的流速, 增加液体流出的时间. 使用长尾夹的原因是: a. 长尾夹底部较平, 方便将吸管直立于杯中; b. 长尾夹的长尾位置有 2 个约 2 mm 的小孔, 可用于调节流速;

3) 将适量被测液体倒入杯中, 然后将吸管竖直插入杯中;

4) 将液体吸至缓冲区, 然后让液体自然流下,



(b) 实物装置图

图 2 吸管对比法测量液体黏度的示意图和实物装置图

## 3 测量结果

将水作为标准液体, 牛奶 (德亚鲜牛奶)、白酒 (52° 四特酒)、含水量约为 80% 的蜂蜜水作为待

测液体. 根据化学参量资源数据库和部分产品说明书提供的液体物性数据, 可知水的黏度和各液体的密度为:  $\eta_{\text{水}} = 1.1404 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ,  $\rho_{\text{水}} = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{\text{纯牛奶}} = 1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,

$\rho_{\text{白酒}} = 0.90 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{\text{蜂蜜水}} = 1.47 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . 实验测量时室温为  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , 每种液体重复测量 6 次. 然后将测量平均值代入式(6), 计算得到待测液体的黏度, 结果如表 1 所示.

表 1 各种液体通过两观测线的时间、黏度及相对于水的黏度比

待测液体	$t_1/\text{s}$	$t_2/\text{s}$	$t_3/\text{s}$	$t_4/\text{s}$	$t_5/\text{s}$	$t_6/\text{s}$	$\bar{t}/\text{s}$	$\eta_{\text{待测液}}/(\text{mPa} \cdot \text{s})$	$\eta_{\text{待测液}}/\eta_{\text{水}}$	
									实验值	常规比值
水	15.88	16.14	16.09	16.05	15.85	16.15	16.03	1.1404	1	—
牛奶	25.62	25.48	25.02	26.06	25.20	25.51	25.48	1.8671	1.64	1.5~3.0
白酒	49.45	49.72	49.65	49.56	49.80	49.76	49.66	3.1796	2.79	2.5~3.5
蜂蜜水	50.94	51.02	51.65	51.12	51.24	51.34	51.22	5.3565	4.70	—

从表 1 可知, 牛奶、白酒与标准液体的黏度测量比值均在常规比值<sup>[12-13]</sup>范围内, 由于蜂蜜水的黏度不仅与种类有关, 还与含水量和温度有关, 难以给出常规比值范围, 但根据文献[14]可知, 本文测量得到的蜂蜜水黏度值在正常范围内, 故吸管法测量液体黏度具有可行性.

#### 4 教学效果

组织 168 名学生开展了本次实验, 每 24 人为 1 组. 因学生的居家环境或宿舍条件不同, 被测液体难以统一, 因此要求学生根据自己所处的环境选择 2 种液体进行测量. 从反馈结果看, 学生实验的积极性较高, 测试的样品种类较多, 有牛奶、可乐、橙汁、糖溶液、蜂蜜水、啤酒等, 牛奶是学生测量频次最高的液体. 下面选择 1 组学生测量牛奶的数据进行统计分析, 测量结果如表 2 所示, 数据分布如图 3 所示.

表 2 牛奶的测量数据

$t/\text{s}$	$\eta_{\text{牛奶}}/\eta_{\text{水}}$	$t/\text{s}$	$\eta_{\text{牛奶}}/\eta_{\text{水}}$
0.41	1.41	5.25	1.54
0.53	1.44	8.23	1.67
0.97	1.43	11.05	1.63
1.43	1.48	25.48	1.64
1.84	1.39	119.75	2.35
2.90	1.83		

从表 2 和图 3 可以看出, 学生的测量结果分布在 1.39~2.35 范围内, 平均值为 1.62, 大部分学生的测量结果在常规比值范围内(1.5~3.0).

从分布规律看, 流速对实验结果有一定影响, 随着流速变小, 测量时间变大, 测得的牛奶黏度变大, 但变化量较小.

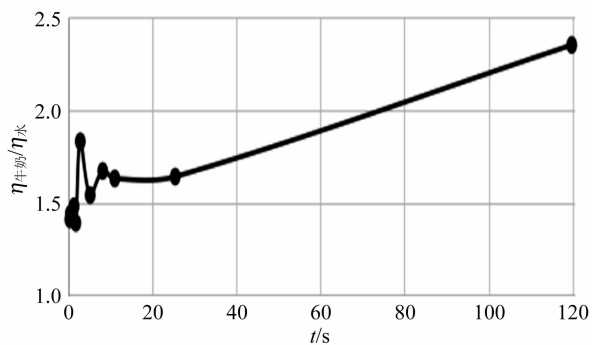


图 3 牛奶黏度的测量结果分布图

从学生参与积极性看, 大部分学生都表现出了较大的热情和认真的态度. 实验教学中, 只要要求提交至少 1 张实验现场照, 但部分学生主动把实验的全程视频分享给教师. 从学生的实验视频中可以了解到部分学生实验结果不理想的原因有: a. 未控制好流速; b. 没有严格保证每种液体体积相同; c. 没有严格保证吸管竖立; d. 所用牛奶浓度较低. 当教师将发现的问题反馈给学生后, 学生会根据教师提出的建议进行改进并重新测量, 直到结果满意为止. 以上现象反映了该居家实验能够激发学生的学习兴趣, 锻炼学生的动手能力, 培养学生的科学探究能力.

#### 5 结束语

吸管对比法测量液体黏度是疫情下为弥补线

上教学的不足而开设的居家实验。该实验依据泊肃叶液体黏度公式,借鉴平氏黏度计的测量思想,采用对比法,通过吸管、长尾夹和杯状容器等常用生活器材即可测量出液体的黏度,且实践证明该方法可行。从教学效果来看,学生对该实验兴趣较大,愿意投入时间和精力去完成实验,大部分学生的测量结果都在正常范围内。尽管有部分学生的结果有所偏离,但学生经历的组建实验装置和测量过程对其建立创新意识和培养创新能力均有积极、正面的影响。

### 参考文献:

- [1] 张申余. 毛细管法测液体粘滞系数[J]. 物理实验, 1991, 11(5): 200-201.
- [2] 唐笑年, 诸挥明, 唐笑迪. 毛细管法测流体黏度实验装置的设计与改进[J]. 大学物理实验, 2018, 31(6): 25-27.
- [3] 罗钧洋, 韦帅兵, 李晨浩, 等. 落球法测定液体粘滞系数的实验修正探讨[J]. 科技创新导报, 2021, 18(29): 190-192.
- [4] 董大兴, 洪涵真, 尤建军, 等. 落球法测定液体粘滞系数实验仪的一点改进[J]. 大学物理实验, 2020, 33(4): 49-51.
- [5] 丛晓燕, 马超, 吕刚, 等. 无限广延法测量液体粘滞系数的实践研究[J]. 大学物理实验, 2020, 33(2): 69-71.
- [6] 宁日波, 徐志洁, 胡杰. 转筒黏度计测量液体黏度方法研究[J]. 大学物理, 2012, 31(8): 21-24.
- [7] 贾晓倩, 张凯悦, 李秉阳, 等. 集成霍尔开关传感器液体黏度测定仪的设计与测试[J]. 物理实验, 2019, 39(4): 53-56.
- [8] 周宇, 李绒, 罗仕娇, 等. 高速相机及智能手机在液体黏滞系数测量上的应用[J]. 大学物理实验, 2021, 34(2): 16-19.
- [9] 李希忠, 张杨. 奥氏黏度计的加固改进[J]. 新乡医学院学报, 2007, 24(6): 590-591.
- [10] 国家市场监督管理总局. 中华人民共和国国家计量检定规程: 工作毛细管黏度计(JJG 155-2016)[S]. 北京: 中国质检出版社, 2016.
- [11] 罗文君, 卜庭江, 马睿. 乌氏黏度计测量高分子溶液黏度的影响因素[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(4): 39-41.
- [12] 麦志杰, 徐海涛, 赵静等. 检测牛奶变质的研究[J]. 中国乳品工业, 2011, 39(3): 24-25.
- [13] 罗莉萍. 中国白酒黏度分析[J]. 中国酿造, 2008(11): 87-89.
- [14] 杨前浩, 袁媛, 李红艳, 等. Arrhenius 模型模拟蜂蜜黏度-温度-含水量变化规律[J]. 南昌大学学报(理科版), 2018, 42(4): 364-368.

## Measuring liquid viscosity at home

WANG Hui-qin

(Physics Experiment Center, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** The straw contrastive method was used to measure the liquid viscosity on the basis of Poiseuille's formula. Owing to the measurement principle of Ping's viscometer, the liquid viscosity was measured only by using a transparent straw, a long tail clip and a glass cup. The results showed that most of the students' experimental measurement results were within the normal range. Thus this home experiment could be used as a supplement to online experimental teaching projects.

**Key words:** viscosity; Poiseuille's formula; contrastive method; home experiment

[责任编辑:郭 伟]